

بررسی تأثیر نسبت بیش بار در عمر خستگی نمونه به صورت عددی و تجربی

محمود سعادت فومنی^۱، سعید سرخیل^{۲*}

چکیده	اطلاعات مقاله
<p>در این پژوهش عمر خستگی و نرخ رشد ترک در اثر بارگذاری با بیش بار متناوب مورد بررسی قرار گرفت. در تحلیل عددی از معادله Forman/Mettu به همراه مدل تعمیم یافته Willenborg استفاده شد. آزمایش‌ها و تحلیل‌ها روی یک نمونه C(T) استاندارد از جنس Al 7075 انجام شدند. در انجام آزمایش‌ها تعداد سیکل‌های ثابت بین بیش بارها ثابت نگه داشته شد و تأثیر نسبت بیش بار در عمر ترک خستگی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که به ازای نسبت بیش بارهای کم و زیاد عمر نمونه نسبتاً پایین است و نسبت بیش بار بهینه‌ای وجود دارد که به ازای آن عمر نمونه ماکزیمم می‌شود. در شرایط بارگذاری این آزمایش مقدار بهینه برای نسبت بیش بار، مقدار ۱/۵ بود.</p>	<p>واژگان کلیدی: بیش بار متناوب، رشد ترک خستگی، نسبت بیش بار، نسبت تکرار.</p>

۱- مقدمه

بارگذاری با دامنه ثابت این است که رشد ترک کند [۹-۳] و یا حتی متوقف شده [۱۰] و در نتیجه عمر قطعه افزایش می‌یابد و از سوی دیگر مطالعه تأثیر بیش بار منفرد در نرخ رشد ترک سیکل‌های بعدی به عنوان پایه‌ای برای محاسبات بارگذاری با دامنه متغیر می‌باشد. در حالت‌های مختلف بارگذاری به صورت بیش بار منفرد، رفتار رشد ترک خستگی متفاوت می‌باشد. به عنوان مثال در برخی حالات بارگذاری بعد از اعمال بیش بار منفرد شتاب اولیه در نرخ رشد ترک دیده شده است [۳، ۵، ۱۱]. بدین معنی که پس از اعمال بیش بار ابتدا نرخ رشد ترک افزایش و سپس کاهش یافته است. در حالت‌های بارگذاری دیگری مشاهده شده است که نرخ رشد ترک بدون شتاب اولیه کاهش یافته است [۶، ۷]. اغلب حالات بارگذاری کاهش تأخیری در رشد ترک مشاهده شده است. بدین معنی که مینیمم نرخ رشد ترک در جایی دورتر از محل اعمال بیش بار اتفاق افتاده است. اما در برخی حالات نیز مشاهده شده است که بلافاصله

۵۰ تا ۷۰ درصد از شکست قطعات ماشین‌آلات به خاطر پدیده خستگی می‌باشد [۱]. در گزارشاتی این رقم حتی تا ۹۰ درصد نیز آمده است. همچنین تحقیقات نشان داده است که عامل اصلی کاهش عمر هواپیماها شکست خستگی در اجزای حساس آنها می‌باشد [۲]. بنابراین افزایش عمر خستگی قطعات می‌تواند هزینه ماشین‌آلات و هواپیماها را به شدت کاهش دهد. به اغلب اجزائی که تحت تأثیر بارگذاری متناوب قرار می‌گیرند تنش‌هایی با دامنه متغیر وارد می‌شود و معمولاً علت شکست خستگی قطعات، بیشتر بارگذاری با دامنه متغیر می‌باشد نه بارگذاری با دامنه ثابت. در اینجا می‌توان به اهمیت بررسی مسأله بیش بار منفرد پی برد. زیرا از یک سو نتیجه عمومی اعمال بیش بار منفرد کششی بر روی

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: sarkheil@mech.sharif.edu

۱. استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف

۲. دانشجوی دکتری، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف

میزان نسبت بیش‌بار در ماکزیمم کردن عمر در نظر نگرفته‌اند.

همانطور که در بالا به آن اشاره شد تحقیقاتی که تاکنون انجام شده است نشان می‌دهند که عمر نمونه با افزایش نسبت بیش‌بار افزایش می‌یابد. مسأله افزایش عمر نمونه‌های آزمایشگاهی در اثر اعمال بیش‌بار متناوب این ایده را به ذهن می‌رساند که بتوان از این روش برای افزایش عمر قطعات صنعتی استفاده کرد. البته استفاده از این امر مستلزم شناسایی کامل مکانیزم‌های حاکم بر آن است. این مسأله هنگامی جالب‌تر می‌شود که بتوان شرایط بهینه‌ای پیدا کرد که باعث شوند نمونه بیشترین عمر ممکن را به ازای ترک بوجود آمده در آن داشته باشد. با پیدا کردن این شرایط و اعمال آنها می‌توان از پرداخت هزینه‌های گراف مالی و زمانی ناشی از شکست قطعات دستگاه‌ها یا اجزای بدنه هواپیماها جلوگیری کرد.

در این پژوهش به بررسی تأثیر نسبت بیش‌بار در بارگذاری به‌صورت بیش‌بار متناوب در یک نسبت تکرار ثابت پرداخته شده است و در نهایت مقدار بهینه‌ای برای نسبت بیش‌بار پیدا شده است که باعث بیشترین عمر نمونه شود.

۲- تحلیل عددی

انجام تست خستگی و مطالعه نرخ رشد ترک ناشی از آن مستلزم صرف زمان و هزینه زیادی می‌باشد. بنابراین در این پژوهش قبل از انجام تست، یک تحلیل عددی روی نمونه تست و در شرایط آزمایش انجام شد. از طریق این تحلیل میزان بیش‌بار بهینه به‌صورت عددی پیدا شد و بعد از آن آزمایش‌ها در اطراف این نقطه انجام شدند. در تحلیل عددی از برنامه NasGro که یکی از جامع‌ترین برنامه‌ها در این زمینه می‌باشد استفاده شد. در میان انواع مختلف معادلات نرخ رشد ترک که در این برنامه موجود می‌باشد معادله Forman/Mettu مورد استفاده قرار

بعد از اعمال بیش‌بار رشد ترک به پایین‌ترین مقدار خود رسیده و رفته‌رفته به مقدار قبلی خود نزدیک شده است.

در بارگذاری به صورت بیش‌بار منفرد، میزان نسبت بیش‌بار (OLR^1) مهم‌ترین عامل در کنترل رشد ترک است و جزئیات این مسأله توسط نویسندگان زیادی بررسی شده است [۴،۵،۷،۸]. تمامی بررسی‌های انجام شده در این زمینه نشان می‌دهند که در بیش‌بار منفرد با افزایش نسبت بیش‌بار، تعداد سیکل‌های تأخیر نمونه و در نتیجه عمر آن افزایش می‌یابد [۴،۸،۱۲].

اگر بیش‌بار به صورت متناوب اعمال شود برهم‌کنش بین بیش‌بارها می‌تواند باعث تقویت یا تضعیف تأخیر در نرخ رشد ترک شود. در این حالت علاوه بر میزان نسبت بیش‌بار، فاصله بین بیش‌بارها نیز اهمیت پیدا می‌کند [۱۳-۱۵]. در بارگذاری با بیش‌بار متناوب نسبت تکرار (OCR^2) به صورت نسبت تعداد سیکل‌های بیش‌بار به سیکل‌های با دامنه ثابت تعریف می‌شود. در حالت حدی اگر فاصله بین بیش‌بارها خیلی کم باشد، بارگذاری با بیش‌بار متناوب باعث کاهش عمر نمونه می‌شود [۱۶،۱۷].

تحقیقات اندکی که در زمینه بیش‌بار متناوب انجام شده است نشان می‌دهند که به ازای نسبت تکرار ثابت با افزایش نسبت بیش‌بار، عمر نمونه افزایش می‌یابد. به عنوان نمونه، Smith [۱۹] که نمونه $M(T)$ از جنس Ti Mo -1V -8A را مورد بررسی قرار داده بود به این نتیجه رسید که به ازای $OCR-1 = 30$ با افزایش نسبت بیش‌بار، عمر نمونه همواره افزایش می‌یابد. Ö. Vardar و

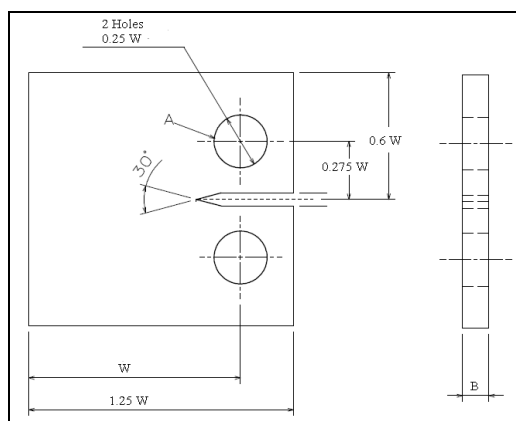
N. Yildirim [۱۳] نیز که نمونه‌های $C(T)$ و $M(T)$ از جنس AL-7075-T6 را بررسی کرده بودند به این نتیجه رسیدند که در نسبت تکرار ثابت با افزایش نسبت بیش‌بار عمر نمونه افزایش می‌یابد. Yuen و Taheri [۹] نیز در روش‌های ماکزیمم کردن عمر تنها به فاصله بین بیش‌بارها و فرکانس اعمال بیش‌بار اشاره کرده‌اند و نقشی برای

¹ Overload Ratio

² Occurrence Ratio

تسلیم در نوک ترک استفاده می‌شود. در این مدل دو ثابت تجربی وجود دارد: $K_{max,th}$ که ضریب شدت تنش آستانه می‌باشد و متناظر با نرخ رشد ترک صفر است و S^{ol} که میزانی از نسبت بیش‌بار است که باعث می‌شود رشد ترک متوقف گردد. مقدار S^{ol} برای آلومینیوم ۳ است.

بارگذاری با دامنه ثابت که در آزمایش‌ها و تحلیل به کار رفت شامل بار ماکزیمم ۷۰۰ نیوتن و نسبت تنش ۰/۱۱ بود و فاصله بین بیش‌بارهای متناوب در عدد ۵۰ ثابت نگه داشته شد. نمونه نیز یک نمونه C(T) استاندارد با پهنا ۲۵ میلی‌متر و ضخامت ۳ میلی‌متر بود که در شکل ۱ نشان داده شده است. در جدول ۱ نسبت بیش‌بارهای مورد استفاده در تحلیل عددی و در شکل ۲ تأثیر نسبت بیش‌بار به صورت نمودار طول ترک بر حسب تعداد سیکل بارگذاری نشان داده شده است. نمودار شکل ۲ نشان می‌دهد که با افزایش نسبت بیش‌بار تا ۱/۵ عمر نمونه افزایش می‌یابد. افزایش عمر نمونه با افزایش نسبت بیش‌بار در تحقیقات قبلی هم نشان داده شده است. اما در این شکل مشاهده می‌شود که با افزایش بیشتر نسبت بیش‌بار، تا ۱/۸۵ عمر نمونه به شدت کاهش می‌یابد. نمودار عمر بی-بعد نمونه (N/NCA) بر حسب نسبت بیش‌بار در شکل ۳ آمده است. عمر بی‌بعد به صورت نسبت عمر نمونه در یک حالت (N) به عمر آن در حالت بارگذاری با دامنه ثابت (NCA) تعریف می‌شود.



شکل ۱- نمونه C(T) و ابعاد آن

گرفت. این معادله توسط Newman, Forman, de Koning و Henrikson ارائه شده و به صورت زیر می‌باشد

$$da/dN = C \left[\left(\frac{1-f}{1-R} \right) \Delta K \right]^n \left(1 - \frac{\Delta K_{th}}{\Delta K} \right)^\rho \left(1 - \frac{K_{max}}{K_{crit}} \right)^q \quad (1)$$

که C, n, ρ و q به صورت تجربی بدست می‌آیند و

$$f = \frac{K_{op}}{K_{max}} = \begin{cases} \max(R, A_0 + A_1 R + A_2 R^2 + A_3 R^3) & R \geq 0 \\ A_0 + A_1 R & -2 \leq R < 0 \\ A_0 - 2A_1 & R < -2 \end{cases} \quad (2)$$

ضرایب معادله ۲ عبارتند از

$$A_0 = (0.825 - 0.34\alpha + 0.05\alpha^2) \left[\cos\left(\frac{\pi}{2} S_{max}/\sigma_0\right) \right]^{\frac{1}{\alpha}} \quad (3)$$

$$A_1 = (0.415 - 0.071\alpha) S_{max}/\sigma_0$$

$$A_2 = 1 - A_0 - A_1 - A_3, \quad A_3 = 2A_0 + A_1 - 1$$

در معادله ۳، α نسبت تنش صفحه‌ای به کرنش صفحه‌ای S_{max}/σ_0 و نسبت تنش ماکزیمم به تنش تسلیم می‌باشد. همچنین

$$\Delta K_{th} = \Delta K_0 \left(\frac{a}{a+a_0} \right)^{0.5} \left(\frac{1-f}{(1-A_0)(1-R)} \right)^{(1+C_{th}R)} \quad (4)$$

که ΔK_0 شدت تنش آستانه در نسبت تنش صفر، a_0 طول ترک، C_{th} ضریب آستانه است.

در این پژوهش از میان ضرایب ذکر شده، C, n و σ_0 از طریق آزمایش بدست آمدند و سایر ضرایب از جداول موجود در NasGro برای آلومینیوم 7075-T6 استخراج شدند.

به منظور وارد کردن تأثیر بیش‌بارهای متناوب و برهم‌کنش بین آنها از مدل تعمیم‌یافته Willenborg استفاده شد. این مدل یکی از رایج‌ترین مدل‌هایی می‌باشد که در برنامه‌های محاسبه نرخ رشد ترک استفاده می‌شوند. در این مدل از ضریب شدت تنش موثر بر اساس اندازه ناحیه

جدول ۲- ترکیبات شیمیایی آلومینیوم 7075

درصد نمونه	عنصر	آلومینیوم 7075 پایه
پایه	آلومینیوم	پایه
۱/۳۵	مس	۱/۲ تا ۲
۱/۹۷	منیزیم	۲/۹ تا ۲/۱
۰/۰۲۰۵	منگنز	حداکثر ۰/۳
۰/۳۲	سیلیس	حداکثر ۰/۴
۰/۴۲۷	آهن	حداکثر ۰/۵
۰/۲۵۱	کروم	۰/۱ تا ۶/۱
۴/۹۹	روی	۵/۱ تا ۶/۱
۰/۰۲۹۴	تیتانیوم	حداکثر ۰/۲

جدول ۳- خواص مکانیکی آلومینیوم 7075

خواص مکانیکی	مقدار
تنش تسلیم (MPa)	۲۵۶
تنش نهایی (MPa)	۲۹۸
مدول الاستیسیته (GPa)	۶۷

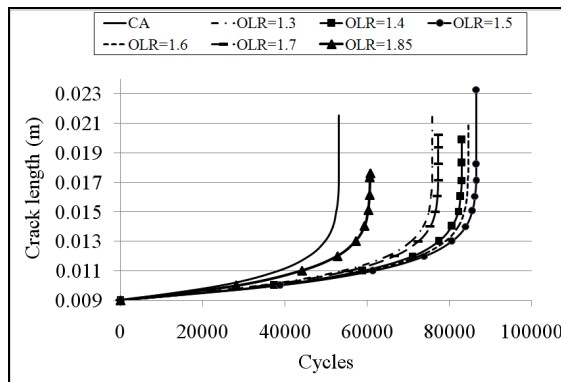
ضرایب معادله Paris (C, n) برای این نوع از آلومینیوم بوسیله آزمایش خستگی با دامنه ثابت بدست آمدند. نرخ رشد ترک در بارگذاری با دامنه ثابت این نمونه ($da/dN = 3.002 \times 10^{-9} (\Delta K)^{5.082}$) با واحدهای $mm/cycle$ و $MPa\sqrt{m}$ بود.

ابعاد نمونه $3 \times 3 \times 31/2$ میلی متر $(W = 25 mm, B = 3 mm)$ و جهت گیری آن نسبت به ورقی که نمونه ها از آن بریده شده بودند به صورت L-T بود [۱۹]. طبق استاندارد ASTM E647 این اندازه، کوچک ترین اندازه ایست که انجام آزمایش با آن معتبر است. ناچ نمونه با استفاده از روش وایرکات ایجاد شد که قطر نوک ناچ حاصله $0/254$ میلی متر (۰/۱ اینچ) بود. طول ناچ اولیه تقریباً ۵ میلی متر بود.

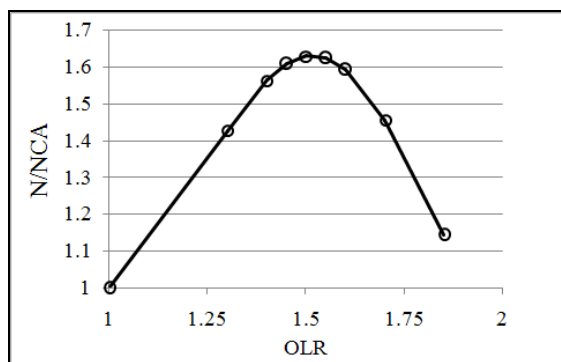
آزمایش ها در شرایط بارگذاری به صورت کنترل نیرو و با دستگاه خستگی سروویدرولیک حلقه بسته Zwick که قابلیت اعمال ۲۰ کیلو نیوتن بار داشت انجام شدند. آزمایش ها در هوای آزمایشگاه و دمای اتاق انجام شدند. بارگذاری با بیش بار متناوب پس از اینکه ترک به اندازه ۴

جدول ۱- نسبت بیش بار مورد استفاده در تحلیل عددی

نسبت تکرار	نسبت بیش بار					
	۱/۳	۱/۴	۱/۵	۱/۶	۱/۷	۱/۸۵



شکل ۲- نمودار طول ترک بر حسب تعداد سیکل



شکل ۳ نمودار عمر بی بعد بر حسب نسبت بیش بار

۳- تحلیل تجربی

۳-۱- نمونه، تجهیزات آزمایش و روند آزمایش

آزمایشات رشد ترک خستگی مطابق با استاندارد ASTM E647 انجام شدند [۱۹]. نمونه مورد استفاده در انجام آزمایش ها یک نمونه C(T) استاندارد از جنس آلومینیوم 7075 و مشخصات هندسی آن مشابه نمونه مورد استفاده در تحلیل عددی بود. از آنجا که مشخصات دقیق این نوع از آلومینیوم در اختیار نبود، آزمایشات آنالیز مواد و تعیین خواص مکانیکی روی آن انجام شدند. ترکیبات شیمیایی و خواص مکانیکی این آلومینیوم به ترتیب در جداول ۲ و ۳ آورده شده است.

گرفته شده بود استفاده می‌شد. با تغییر لنز دوربین این قابلیت ایجاد شد که دوربین در فاصله صفر تا ۵ سانتی‌متری نمونه قرار گیرد. با این روش اندازه‌گیری، برای اندازه‌گیری طول ترک نیاز به توقف آزمایش نبود. کلیت مجموعه آزمایش در شکل ۵ نشان داده شده است.

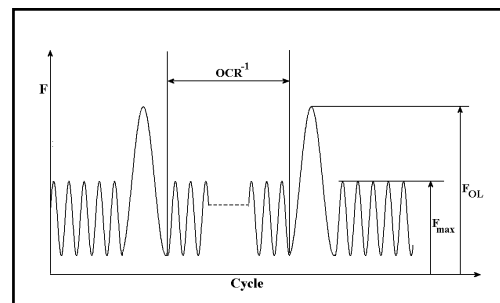


شکل ۵ کلیت مجموعه آزمایش

با توجه به اینکه نسبت ضخامت به پهنای نمونه B/W کمتر از $0/15$ بود طبق استاندارد ASTM E647 اندازه-گیری طول ترک در یک طرف نمونه انجام شد. در آماده-سازی نمونه برای آزمایش، ابتدا نمونه پولیش کاری شد. جهت پولیش کاری در مرحله پایانی عمود بر مسیر رشد ترک بود. پس از پولیش کاری خطوط بسیار نازکی به فاصله تقریبی ۱ میلی‌متر روی نمونه کشیده شدند. فاصله دقیق این خطوط توسط دستگاه سایه‌نگار اندازه‌گیری شد. در اندازه‌گیری طول ترک از این خطوط به عنوان راهنما استفاده شد و به منزله کالیبراسیون اندازه‌گیری بودند. در شکل ۶ یکی از تصاویر گرفته شده توسط دوربین که ترک در حال رشد و خطوط ترسیم شده قابل مشاهده هستند نشان داده شده است.

میلی‌متر از ناچ ایجاد شده رشد کرد شروع شد تا اثر ناچ بوجود آمده توسط وایرکات از بین برود.

در تمامی آزمایش‌ها در حالت بارگذاری با دامنه ثابت نسبت تنش در مقدار $0/11$ ، مقدار بار ماکزیمم در مقدار 700 نیوتن و فرکانس اعمال بار در عدد 5 هرتز ثابت نگه داشته شد. در آزمایش‌ها میزان نسبت بیش‌بار تغییر داده شد تا تأثیر نسبت بیش‌بار در برهم‌کنش بارها و عمر نمونه بررسی شود. با در نظر گرفتن نتایج تحلیل عددی چهار بیش‌بار با مقادیر 910 ، 1050 ، 1190 و 1295 نیوتن (معادل نسبت بیش‌بارهای $1/3$ ، $1/5$ ، $1/7$ و $1/85$) انتخاب شدند تا به بارگذاری با دامنه ثابت اعمال شوند. فرکانس اعمال بیش‌بار $0/7$ هرتز، و شکل موج آن به صورت سینوسی بود. همانند تحلیل عددی تعداد سیکل با دامنه ثابت بین بیش‌بارها نیز در عدد 50 ثابت نگه داشته شد. نمودار نیروی اعمالی بر حسب تعداد سیکل در شکل ۴ آمده است.



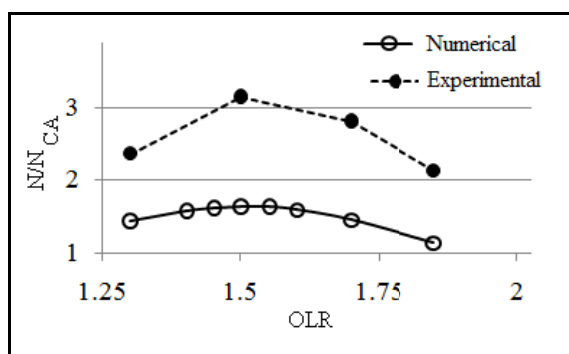
شکل ۴ نمودار نیروی اعمالی بر حسب سیکل

۳-۲- روش اندازه‌گیری طول ترک

در انجام آزمایش‌ها برای اندازه‌گیری طول ترک از یک دوربین سرعت بالا استفاده شد. در حالت عکس‌برداری این دوربین می‌توانست با سرعت 60 فریم بر ثانیه و وضوح تصویر 6 مگاپیکسل عکس‌برداری کند. با توجه به نسبت خطی بین بار و بازشدگی دهانه ترک، عکس‌برداری در لحظه اعمال بیش‌بار انجام می‌شد تا نوک ترک نمایان‌تر شود. با توجه به فرکانس اعمال بیش‌بار ($0/7$ هرتز) در یک باز و بسته شدن ترک 85 عکس گرفته می‌شد که برای اندازه‌گیری طول ترک از عکسی که در بیشترین نیرو

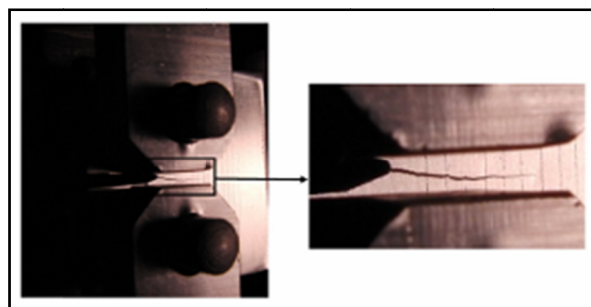
بیشتر آن به $1/7$ و $1/8.5$ عمر نمونه کاهش یافته است. بنابراین بیشترین عمر نمونه متناظر با بیشترین نسبت بیش بار نمی باشد و نمودار عمر خستگی بی بعد (N/N_{CA}) بر حسب نسبت بیش بار که در شکل ۸ نشان داده شده است بیانگر تأخیر بیشتر در نسبت بیش بارهای میانی می باشد. بنابراین به ازای نسبت تکرار ثابت، نسبت بیش بار بهینه ای وجود دارد که عمر نمونه را ماکزیمم می کند.

علت کاهش عمر نمونه در نسبت بیش بارهای بیشتر از $1/5$ را می توان به رشد ترک در لحظه اعمال بیش بار مربوط دانست. در حالت کلی رشد ترک را به دو بخش می توان تقسیم نمود: رشد ترک در لحظه اعمال بیش بار (که با افزایش نسبت بیش بار افزایش یافته و در نتیجه عمر نمونه کاهش می یابد) و رشد ترک در لحظات بعد از اعمال بیش بار (که با افزایش نسبت بیش بار کاهش یافته و در نتیجه عمر نمونه افزایش می یابد). تا قبل از نسبت بیش بار $1/5$ ، میزان رشد ترک در لحظه اعمال بیش بار کم است و تأثیر کاهش نرخ رشد ترک در لحظات بعد از اعمال بیش بار قوی تر از رشد ترک در لحظه اعمال آن است. اما با افزایش نسبت بیش بار به بیشتر از $1/5$ ، میزان رشد ترک در لحظه اعمال بیش بار افزایش یافته و تأثیر کاهش رشد ترک در لحظات بعدی را خنثی می کند.



شکل ۸- نمودار نتایج آزمایشگاهی طول ترک بی بعد

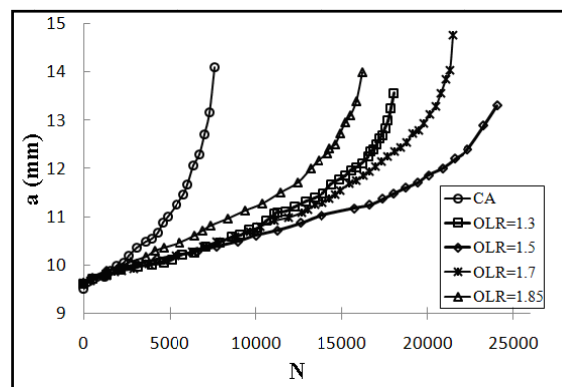
مطابق شکل ۸ مقایسه نتایج آزمایشگاهی و عددی نشان می دهد که معادله Forman/Mettu به همراه مدل Willenborg تعمیم یافته میزان نسبت بیش بار بهینه را به صورت دقیق ارائه می کنند اما میزان عمر حاصله در این



شکل ۶ تصویر ترک در حال رشد و خطوط ترسیم شده روی نمونه

۴- نتایج و بحث

شکل ۷ تأثیر نسبت بیش بار در افزایش عمر نمونه را نشان می دهد. همانطور که در این شکل نشان داده شده است، مطابق تحلیل عددی با افزایش نسبت بیش بار از $1/5$ تا $1/8.5$ عمر خستگی نمونه افزایش می یابد. اما افزایش بیشتر نسبت بیش بار از $1/5$ تا $1/8.5$ باعث کاهش عمر می شود.



شکل ۷ نمودار نتایج آزمایشگاهی طول ترک بر حسب تعداد سیکل

نمودار شکل ۷ نشان می دهد که اعمال بیش بار متناوب با نسبت بیش بار $1/3$ و $1/5$ به ترتیب باعث افزایش $1/4$ و $2/1$ برابری عمر نمونه نسبت به حالت بارگذاری با دامنه ثابت می شود و بارگذاری با مقادیر بزرگتر بیش بار یعنی $1/7$ و $1/8.5$ به ترتیب باعث افزایش $1/8$ و $1/1$ برابری عمر نمونه نسبت به حالت بارگذاری با دامنه ثابت می شود. به این ترتیب مشاهده می شود که با افزایش نسبت بیش بار از $1/3$ به $1/5$ عمر نمونه افزایش یافته است اما با افزایش

۵- نتیجه‌گیری

آزمایش‌های خستگی و تحلیل عددی انجام شده روی نمونه C(T) به ضخامت ۳ میلی‌متر از جنس AL-7075 نشان دادند که

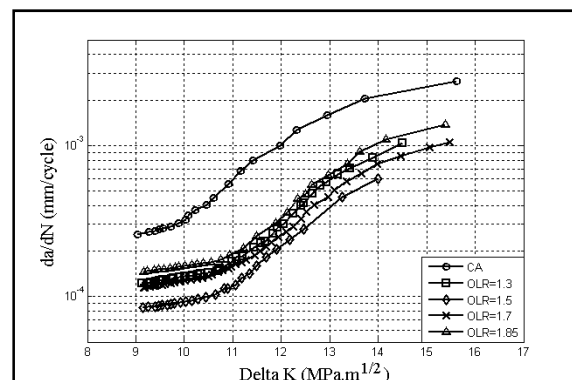
۱. معادله Forman/Mettu به همراه مدل Willenborg تعمیم یافته میزان نسبت بیش‌بار بهینه را به صورت دقیق ارائه می‌کنند.

۲. در بارگذاری به صورت بیش‌بار متناوب با تغییر نسبت بیش‌بار برهم‌کنش بین بیش‌بارها تغییر می‌کند. با افزایش نسبت بیش‌بار ابتدا عمر نمونه افزایش یافته و سپس کاهش می‌یابد و میزان بهینه‌ای برای نسبت بیش‌بار وجود دارد که باعث ماکزیمم نمودن عمر نمونه می‌شود. در شرایط آزمایش این مقدار بهینه ۱/۵ بود و باعث شد عمر نمونه نسبت به بارگذاری با دامنه ثابت ۲/۱ برابر شود.

۳. در بارگذاری با بیش‌بار متناوب، تغییرات da/dN بر حسب ΔK مشابه بارگذاری با دامنه ثابت است که به سمت پایین شیف‌ت پیدا کرده است.

شرایط با هم تفاوت دارد که البته این مسأله از موارد مورد بررسی در پژوهش نبود.

نمودار نرخ رشد ترک خستگی بر حسب ضریب شدت تنش که در شکل ۹ آورده شده است نشان می‌دهد که مشابه نتایج Vardar [۱۳] و K. Tur [۱۵] در بارگذاری با بیش‌بار متناوب، تغییرات da/dN بر حسب ΔK مشابه بارگذاری با دامنه ثابت است که به سمت پایین شیف‌ت پیدا کرده است.



شکل ۹ نمودار نرخ رشد ترک بر حسب ضریب شدت تنش

مراجع

- [1] Zhou, Z. (1991), "Fatigue damage under variable amplitude loads". PhD Thesis, Oklahoma State University.
- [2] Wahab, M.A., Rohrsheim, G.R., Park, J.H. (2004), "Experimental study on the influence of overload induced residual stress field on fatigue crack growth in aluminum alloy". J. Mater. Process. Technol., vol. 153-154, pp. 945-951.
- [3] Schijve, J., Skorupa, M., Skorupa, A., Machniewicz, T., Gruszczynski, P. (2004), "Fatigue crack growth in the aluminum alloy D16 under constant and variable amplitude loading". Intl. J. Fatigue, Vol. 26, No. 1, pp. 1-15.
- [4] Borrego, L.P., Ferreira, J.M., Pinho da Cruz, J.M., Costa, J.M. (2003), "Evaluation of overload effects on fatigue crack growth and closure". Eng. Fract. Mech., Vol. 70, pp. 1379-1397.
- [5] Skorupa, M., Skorupa, A. (2005), "Experimental results and predictions on fatigue crack growth in structural steel". Intl. J. Fatigue, Vol. 27, pp. 1016-1028.
- [6] Shin, C.S., Hsu, S.H. (1993), "On the mechanisms and behavior of overload retardation in AISI 304 stainless steel". Intl. J. Fatigue, Vol. 15, No. 3, pp. 181-192.
- [7] Damri, D., Knott, J.F. (1991), "Transient retardation in fatigue crack growth following a single peak overload". Fatigue Fract. Eng. Mater. Struc., Vol. 14, No. 7, pp. 709-719.
- [8] Vardar, Ö. (1988), "Effect of single overload in FCP". Eng. Fract. Mech., Vol. 30, pp. 329-335.

- [9] Yuen, B.K.C., Taheri, F. (2006), "Proposed modifications to the wheeler retardation model for multiple overloading fatigue life prediction". *Intl. J. Fatigue*, Vol. 28, pp. 1803-1819.
- [10] Solanki, K., Daniewicz, S.R., Newman, Jr., J.C. (2004), "A new methodology for computing crack opening values from finite element analyses". *Eng. Fract. Mech.*, Vol. 71, pp. 1165-1175.
- [11] McMaster, F.J., Smith, D.J. (2001), "Predictions of fatigue crack growth in aluminum alloy 2024-T351 using constraint factors". *Intl. J. Fatigue*, Vol. 23, pp. 93-101.
- [12] Kumar, R. (1991), "Effect of variable single cycle peak overload on fatigue life". *Intl J. Pressure Vessels Piping*, Vol. 48, pp. 293-303.
- [13] Yildirim, N., Vardar, Ö. (1990), "Study of periodic overloads at a fixed overload ratio". *Eng. Fract. Mech.*, Vol. 36, pp. 71-76.
- [14] Vardar, Ö., Yildirim, N. (1990), "Crack growth retardation due to intermittent overloads". *Intl. J. Fatigue*, Vol. 12, pp. 283-287.
- [15] TÜR, Y., Vardar, Ö. (1996), "Periodic tensile overloads in 2024-T3 AL-alloy". *Eng. Fract. Mech.*, Vol. 53, No. 1, pp. 69-77.
- [16] Fleck, N.A. (1985), "Fatigue crack growth due to periodic underloads and overloads". *Acta Metal.*, Vol. 33, pp. 1339-1354.
- [17] Borrego, L.P., Costa, J.M., Ferreira, J.M. (2005), "Fatigue crack growth in thin aluminum alloy sheets under loading sequences with periodic overloads". *Thin-Walled Struc.*, Vol. 43, pp. 772-788.
- [18] Smith, S.H. (1968), "Random loading fatigue crack growth behavior of some aluminum alloys". *ASTM STP 404*.
- [19] American Society for Testing and Materials, (1995), "Standard test method for measurements of fatigue crack growth rates". *Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 03.01, ASTM E 647, pp. 562-598.

NUMERICAL AND EXPERIMENTAL STUDY ON THE EFFECT OF OVERLOAD RATIO ON FATIGUE LIFE

M. S. Foumani¹, S. Sarkheil^{2,*}

1. Assistance Professor, Sharif University of Technology

2. PhD Student, Sharif University of Technology

*Corresponding Author: sarkheil@mech.sharif.edu

ARTICLE INFO

Keywords:

Periodic Overloads,
Fatigue Crack
Growth,
Overload Ratio,
Single Overload,
Occurrence Ratio.

ABSTRACT

Fatigue life and crack growth retardation due to periodic tensile overloads which are superposed on constant amplitude cycles have been investigated. In the numerical analysis the Forman/Mettu equation with the generalized Willenborg model is used. Analyses and experiments are performed on C(T) specimens made of 7075 aluminium. In the experiments and analyses the periodicity of overloads was remained constant and the effect of overload ratio on the fatigue life has been researched. Results of the experiments and analyses reveal that the N/N_{CA} versus OLR curve has a maximum which indicates that there are greater retardation effects in intermediate OLR values. Also the numerical and experimental results show that in occurrence ratio of 1/50 the overload ratio of 1.5 lead to the maximum interaction.
